FLUXOS TURBULENTOS DE CALOR SENSÍVEL E DE CALOR LATENTE: VARIAÇÕES LOCAIS

Éder Leandro Bayer MAIER [1]
Fulano Segundo dos SANTOS [2]
Marla HECKLER [3]

RESUMO

O principal enfoque desta pesquisa é compreender os fluxos turbulentos, porque estes são responsáveis pelo transporte vertical na camada limite planetária, parte da atmosfera que sofre diretamente a influência da superfície. O escoamento turbulento apresenta uma grande variabilidade ao longo do dia, que depende das condições do terreno, insolação e outros. Para avaliar o impacto da dispersão dos poluentes resultantes da queima de carvão mineral em uma usina termoelétrica, instalada em Candiota, RS, foram realizados 4 experimentos micrometeorológicos. Os dados foram coletados em uma torre de 12 m de altura, entre julho de 1994 e novembro de 1995. A flutuação turbulenta de velocidade vertical, umidade e temperatura foram medidos com sensores de resposta rápida a uma freqüência de 1 Hz. O método de análise de quadrante é uma ferramenta para compreensão dos fluxos. Este demonstra a contribuição dos fluxos derivados dos movimentos verticais e variação do calor sensível e latente em relação ao fluxo total. Esta contribuição é denominada fração de estresse e será confrontada com a estabilidade e velocidade de atrito. Como os experimentos foram realizados nas quatro estações, a análise possibilitou avaliações de variações sazonais. A amplitude da variação da fração de estresse no fluxo de calor latente é maior que do fluxo de calor sensível. Na maior parte dos dados, a velocidade de atrito varia entre 0,1 e 0,5 m/s. A amplitude da fração de estresse, para todos os quadrantes, é maior no intervalo de menores valores da velocidade de atrito. Adicionalmente, detectou-se uma inversão dos quadrantes de ejeção e intrusão do calor latente de fevereiro para julho, o que não ocorreu para os quadrantes de calor sensível. No período instável, as ejeções e intrusões são representadas pelos quadrantes 1 e 3, enquanto no período estável as ejeções e intrusões são representadas pelos quadrantes 2 e 4. Nas condições de estabilidade, próximo a neutralidade, o fluxo do calor sensível distribuem-se simetricamente em torno de z/L=0, onde z/L é o parâmetro de estabilidade. Os fluxos de calor latente não apresentam tal distribuição, porque a fonte de umidade é, em geral, a superfície terrestre, o fluxo está estabelecido no sentido superfície terrestre para a atmosfera, exceto quando ocorre a formação de orvalho. No inverno, a camada superficial contém menos umidade específica, no verão ocorre um aumento do valor da umidade específica e nesta região as estações outono e primavera apresentam a transição desta característica. Esta pesquisa indicou uma variação sazonal dos fluxos de calor latente na região de Candiota, que está sendo descrita pela primeira vez. Esta variação deve ser considerada quando a avaliação da dispersão de poluentes nesta região.

[1] Fundação Universidade Federal do Rio Grande, geomaier@furg.br
[2] Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Professora Dotora, nkrusche@furg.br
[3] Fundação Universidade Federal do Rio Grande, marla-heckler@yaaho.com

INTRODUÇÃO

A relação entre o homem e o meio ambiente vem sendo debatida em diversas áreas do conhecimento científico. O estado do Rio Grande do Sul tem uma carência de estudos ambientais, que poderão subsidiar um planejamento ambiental (Rohde, 2004). Por exemplo no que diz respeito a produção de energia elétrica.

No município de Candiota está instalada a termoeletrica Presidente Médici, que é gerenciada pela Compania de Geração Térmica de Energia Elétrica, com capacidade de gerar 446000 kW. Esta empresa é responsável pela extração e combustão do carvão mineral na área. Segundo Bertê (2004), "as atividades mineradoras causam, de modo geral, elevada degradação ambiental por envolver, na maior parte das vezes, desmatamentos, remoção da camada fértil do solo, degradação do material rochoso, erosão, afloramento do lençol freático."

As atividades realizadas pela usina liberam poluentes na atmosfera, portanto o objetivo deste trabalho é a compreensão da dispersão deste poluentes a partir da análise dos fluxos turbulentos de calor latente e de calor sensível. Para tanto será empregada a técnica de análise dos quadrantes. Os fluxos turbulentos são os responsáveis pelo transporte vertical na camada limite planetária, proporcionando a dispersão ou a concentração dos poluentes, na região de Candiota, RS.

A motivação para o presente estudo originou-se na análise de dados coletados no I Experimento Meteorológico de Rio Grande, RS. Entretanto Heckler et al. (2003) observaram que o número de dados foi insuficiente para aplicação da técnica de análise dos quadrantes. Análise inicial da aplicação desta técnica aos dados coletados em Candiota, RS, durante quatro experimentos micrometeorológicos, ente 1994 e 1995, foi apresentada em Heckler e Krusche (2004).

MÉTODOS e TÉCNICAS

A camada limite planetária é definida por Stull (1988) como: A região da troposfera que é diretamente influenciada pela presença da superfície e que responde às forçantes superficiais com escala temporal de uma hora ou menos. O aquecimento solar da terra causa o surgimento de termais, ar quente que sobem**.** O arrasto friccional do ar sobre a terra desenvolve esteiras de vento que freqüentemente se tornam turbulentas, os obstáculos como árvores e edifícios desviam o fluxo, originando esteiras turbulentas em suas adjacências.

Dados

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos durante os experimentos meteorológicos realizado em Candiota, RS, numa torre micrometeorológica de 12 m de altura, no período de julho de 1994, fevereiro, maio e novembro de 1995, totalizando cerca de 470 arquivos. A flutuação turbulenta de velocidade vertical, umidade e temperatura foram medidos com sensores de resposta rápida a uma freqüência de 1 Hz. Uma descrição mais detalhada dos experimento encontra-se em Moraes (2004).

Os sensores foram instalados voltados para nordeste, que é a direção predominante do vento nesta área. Estes dados foram submetidos a um controle de qualidade, realizado por Machado e Krusche (2000). Na etapa conclusiva do projeto, os dados

foram novamente submetidos a um controle de qualidade, esta foi realizada através da inspeção visual.

Análise dos Quadrantes

A interpretação dos quadrantes proporciona o calculo da fração de estresse, que é a medida da contribuição dos fluxos devido a cada quadrante (Katul et al, 1997), portanto demostra a contribuição dos fluxos derivados dos movimentos verticais e variação do calor sensível e latente em relação ao fluxo total.

Os quadrantes são delimitados por eixos, onde w' representa a flutuação da velocidade vertical do fluido e c' a variável do escoamento, como exemplos: a temperatura, umidade, concentração de um gás ou partícula.

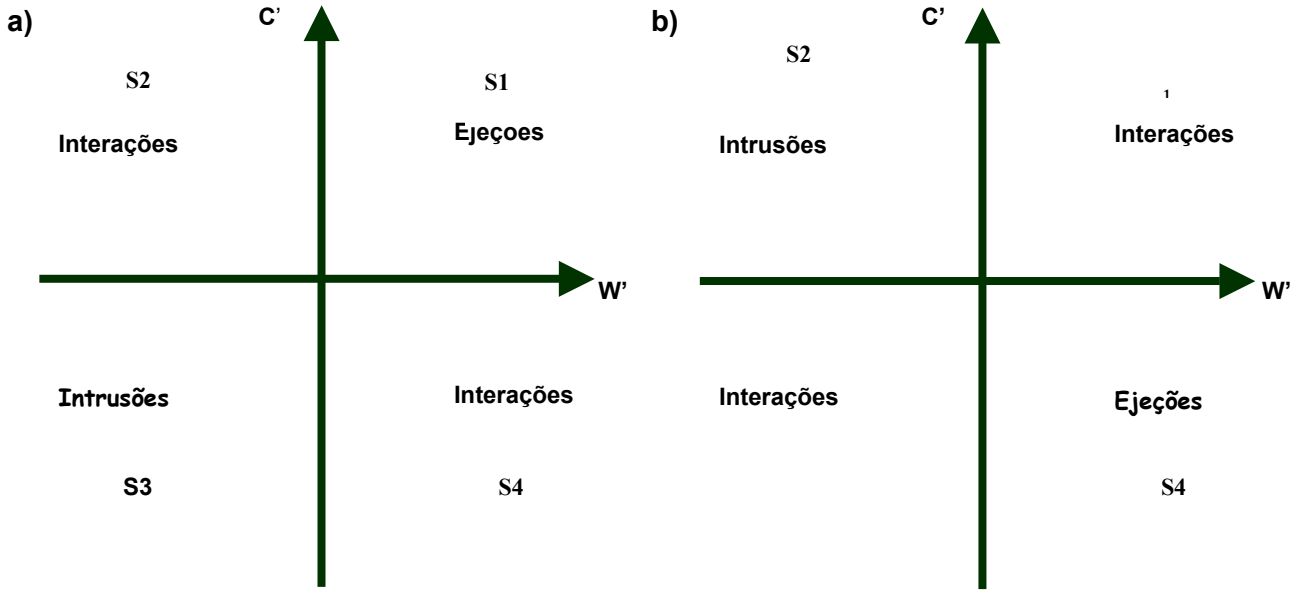


Figura 1: Representa a fração de estresse para o fluxo de calor sensível no período: a) instável; b) estável

Para o fluxo de calor sensível, no período instável as ejeções e as intrusões são respectivamente representadas pelos quadrantes 1 e 3, as interações pelos quadrantes 2 e 4. No período estável as ejeções e as intrusões são representadas pelos quadrantes 2 e 4, as interações pelos quadrantes 1 e 3.

Para o fluxo de calor latente, em qualquer condição de estabilidade o fluxo será predominantemente no sentido da superfície terrestre para atmosfera, portanto permanece o modelo representado pela figura a.

Área de estudo

O município de Candiota está localizado no extremo sul do Brasil, na região da Campanha gaúcha, latitude 31, 56 ºS e longitude 53,673 ºW. O município de Candiota foi emancipado em 20 de março de 1992 dos municípios de Bagé e Pinheiro Machado, possui uma extensão territorial de 934 km². A campanha é caracterizada por colinas concavas-convexas ou de topo plano, denominado coxilias. Esta é coberta por gramíneas com a presença de matas galerias e matas

ciliares. Nesta região predominam atividades agropecuárias. Com uma população total de 8.769 habitantes, Candiota ainda hoje é predominantemente rural, com 69,70% da sua população na área rural.

Os municípios da campanha gaúcha, com atividades agrarias apresentam o PIB per capita baixo, quando comparado aos demais municípios gaúchos. Comparamos os municípios Bagé e Cantiota, onde Bagé expressa as características econômicas da campanha. Analisando os dados do PIB, no período 1999 a 2002, notamos que as atividades da termoelétrica são significativas na economia municipal. A média desde 4 anos do PIB per capita em Bagé e Candiota são, respectivamente, 4834 reais e 12873 reais.

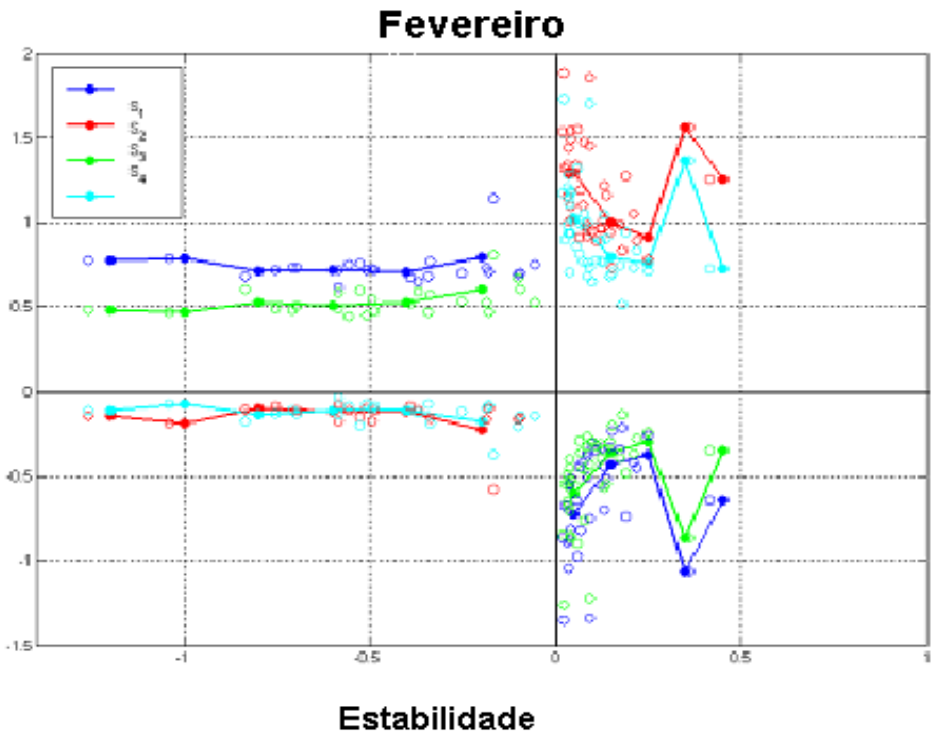
A qualidade do carvão mineral influenciará na economia da empresa e na emissão de poluentes. O carvão mineral da depressão central do Rio Grande do Sul, formado no Mesocenozóico, apresenta baixo conteúdo carbonífero, esta característica aumenta a emissão de poluente na sua utilização, cinza e enxofre, por exemplo.

Nas última décadas ocorreu um avanço na tecnologia e na legislação afim de minimizar os impactos ambientais, principalmente em áreas de mineração de carvão e geração de energia termoelétrica. (Bertê, 2004)

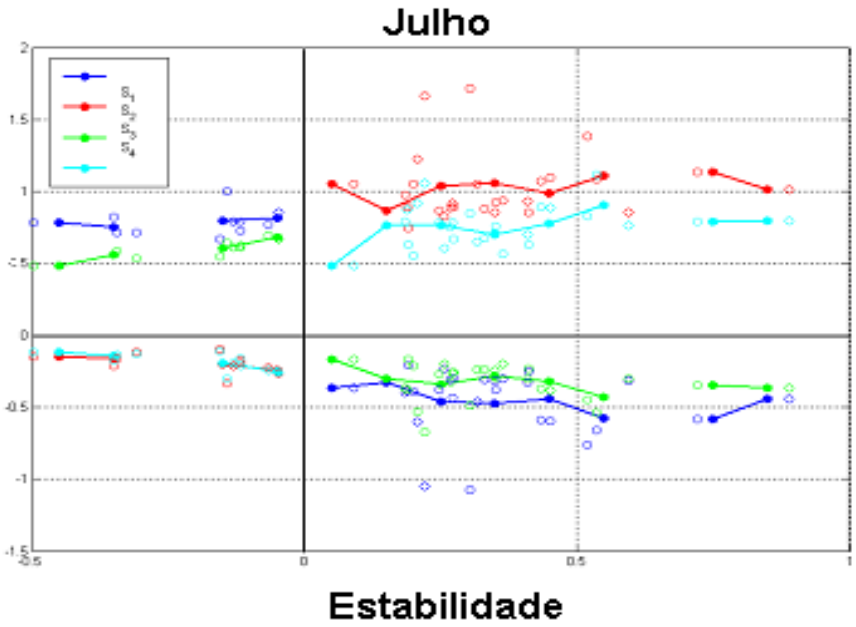
RESULTADOS

A amplitude de variação da fração de estresse, para o fluxo calor latente, é menor no período instável quando comparado ao período estável. No mês de julho parte das medidas estão concentradas nos maires valores de z/L, que indica o parâmetro de estabilidade, onde z indica a altura da coleta do dados turbulentos e L é o comprimento de Obukhov, que fornece informações sobre até que altura os mecanismos de geração mecânica da turbulência desempenham papel importante comparativamente aos térmicos.

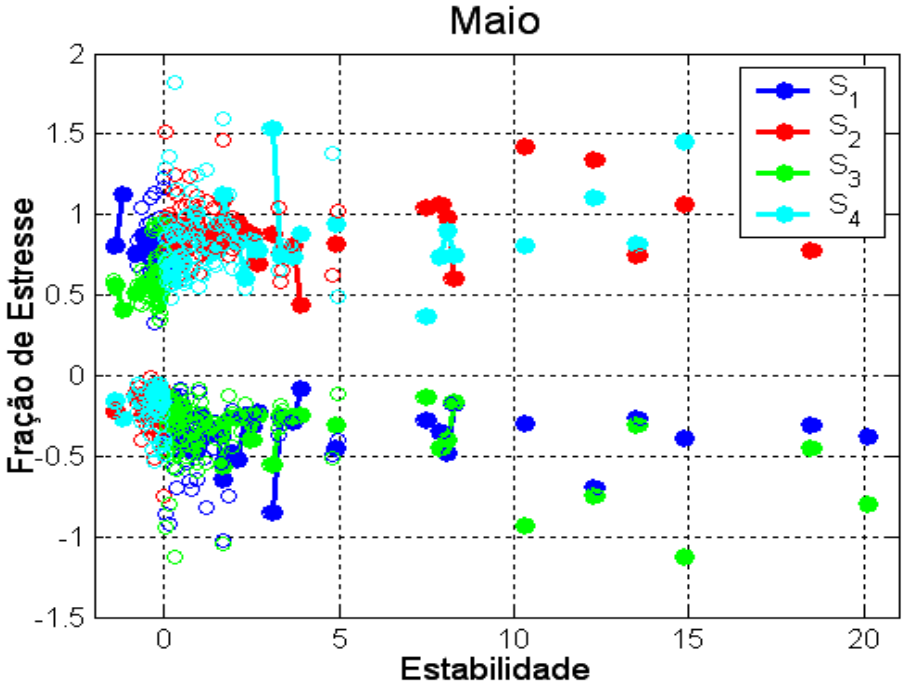
a)



b)


Julho
Estabilidade

c)


Maio
Fração de Estresse
Estabilidade
S1
S2
S3
S4

d)

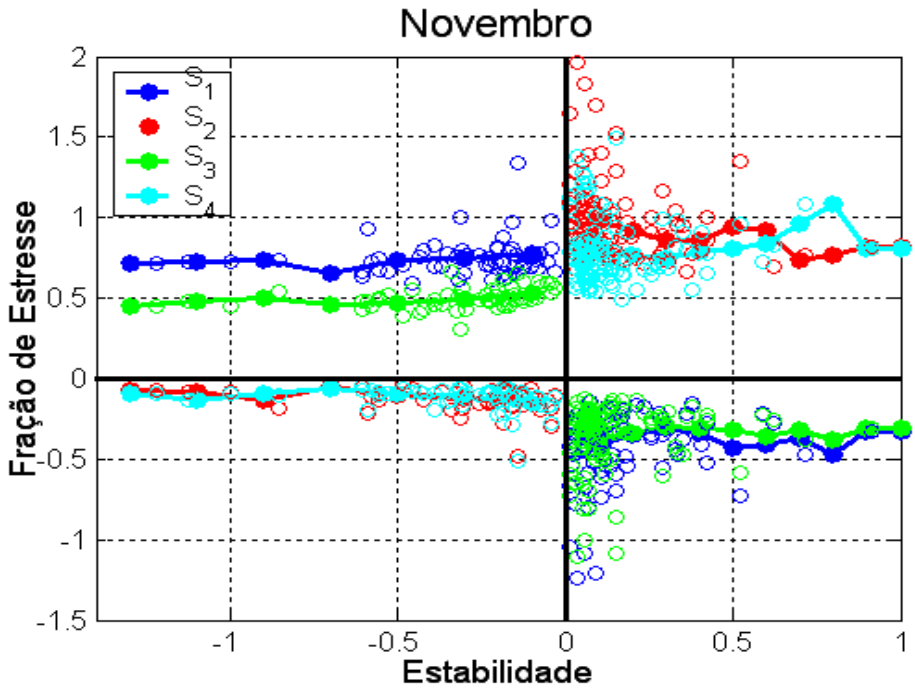
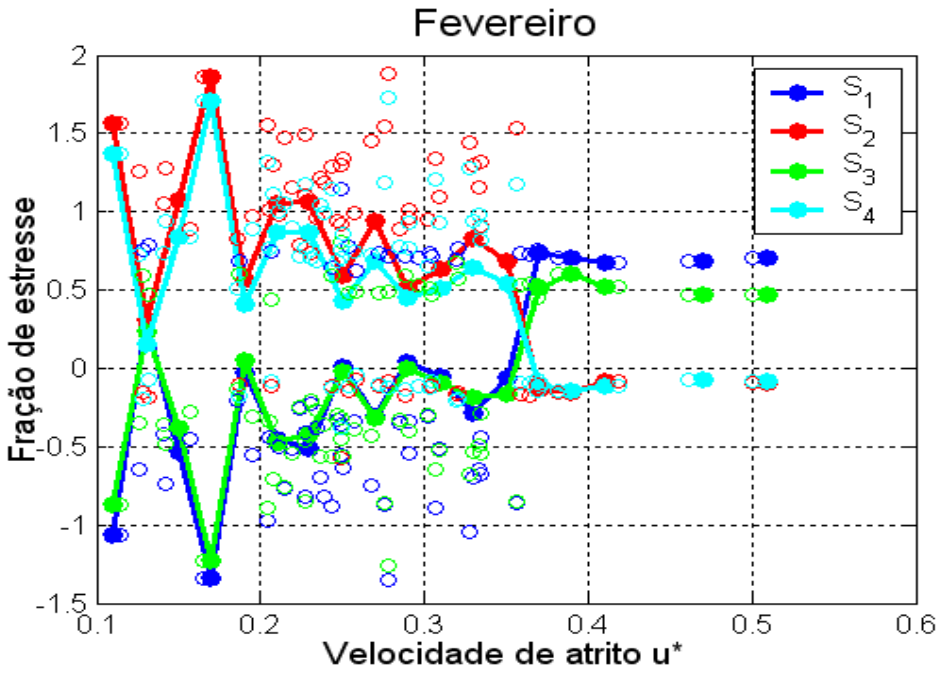


Figura 2: Variação da fração de estresse do calor sensível com o parâmetro de estabilidadde. a) fevereiro, b) julho, c) maio, d) novembro. As linhas com circuferencias cheias representam as médias dos intervalos de classe, as circuferencias abertas representam os dados.

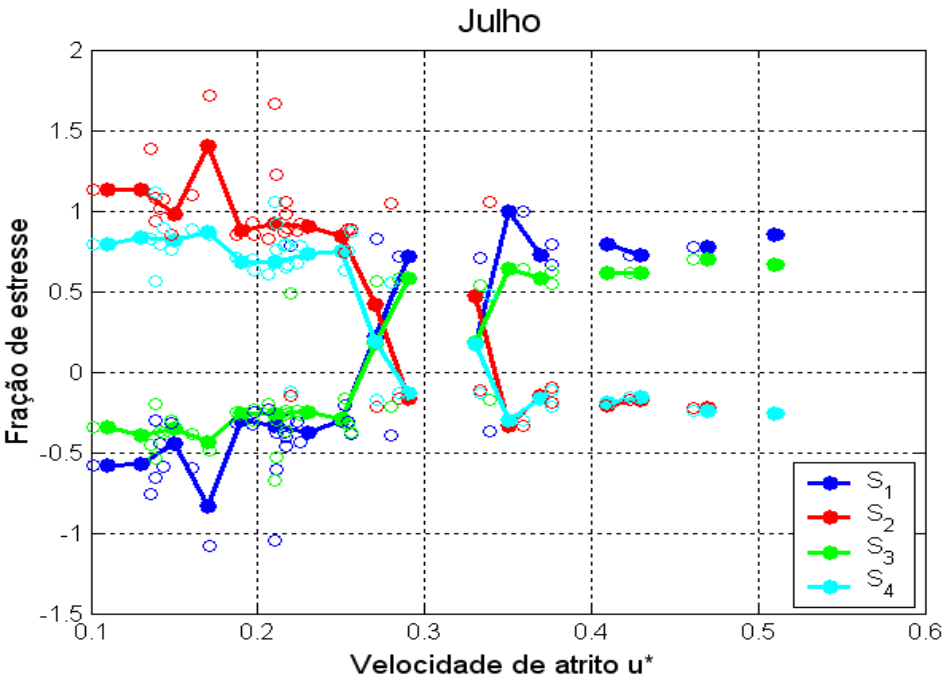
No fluxo de calor sensível ocorre um aumento na amplitude de variação da fração de estresse do período instável para o estável. Esta diferença é nitida nos meses de fevereiro, novembro e julho. No mês de maio esta variação é pequena quando comparado aos outros meses.

Nos meses de novembro, maio e fevereiro, no período estável, a fração de estresse tende a diminuir com o aumento da estabilidade. O mês de julho apresenta poucos dados para ánalise conclusiva.

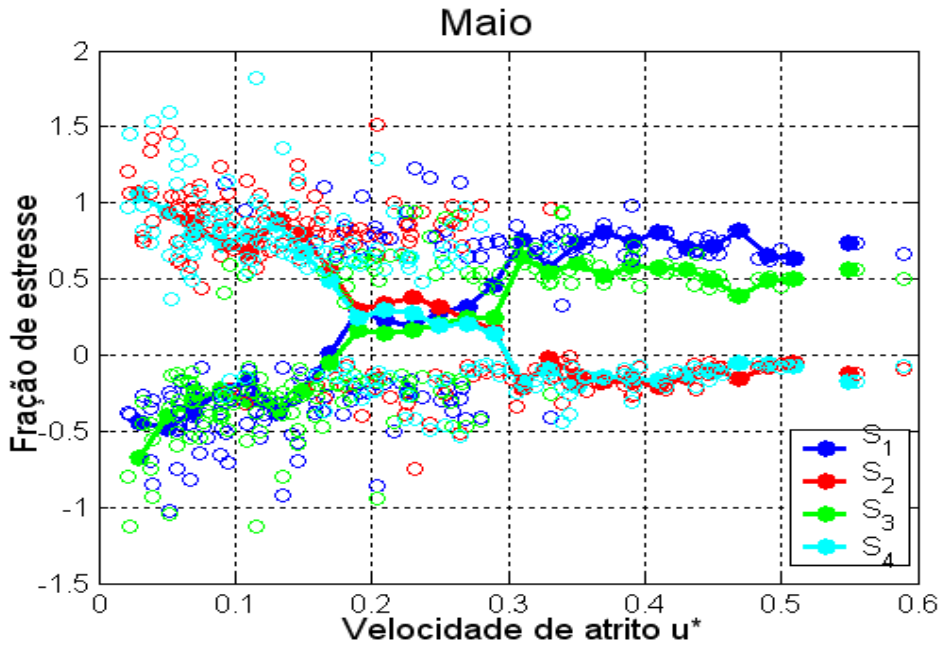
a)


Fevereiro
Fração de estresse
Velocidade de atrito u*
S1
S2
S3
S4
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6

b)


Julho
Fração de estresse
Velocidade de atrito u*
S1
S2
S3
S4
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6

c)



d)

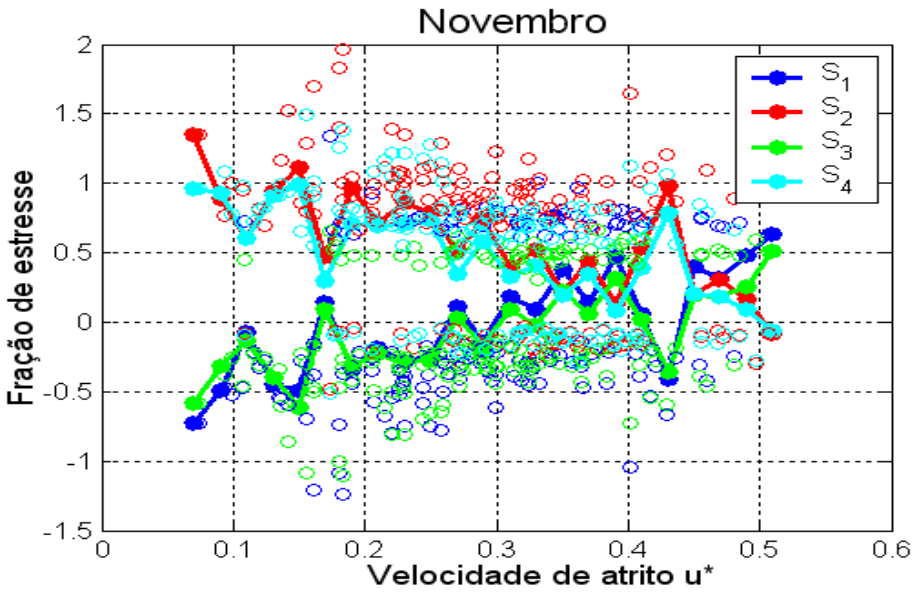
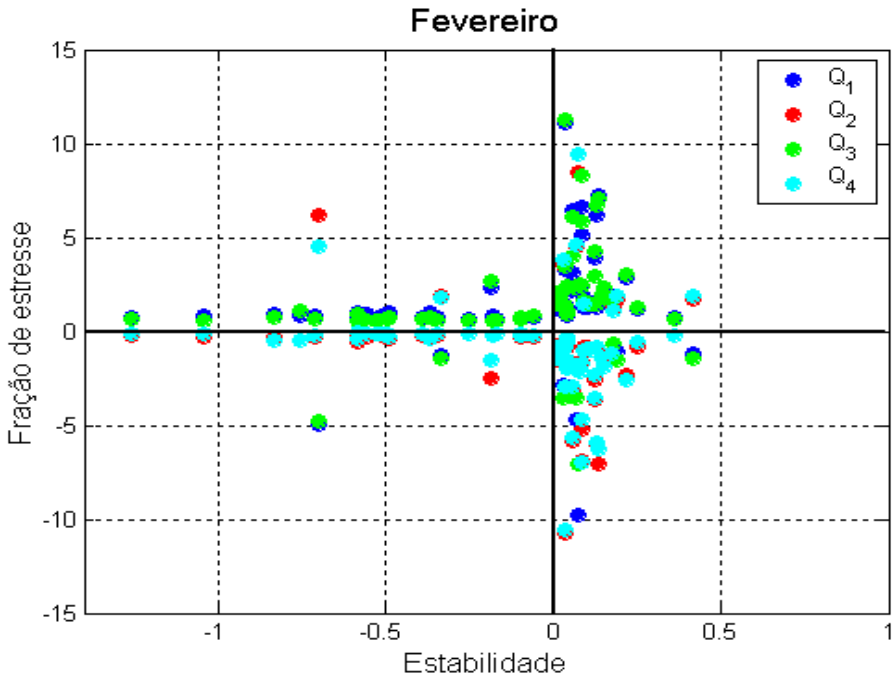
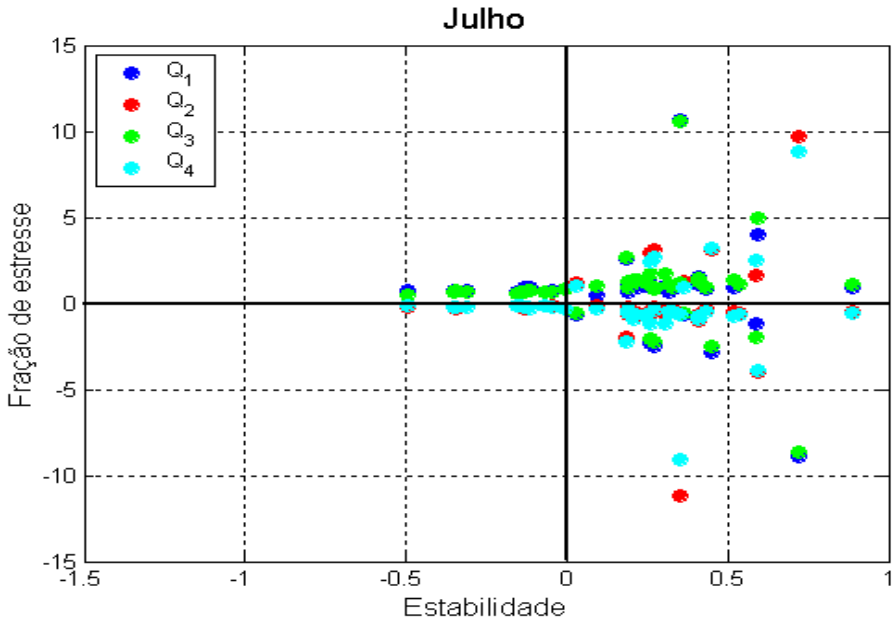


Figura 3: Variação da Fração de estresse do calor sensível com a velocidade de atrito u_*. a) fevereiro, b) julho, c) maio, d) novembro. As linhas com circuferencias cheias representam as médias dos intervalos de classe, as circuferencias abertas representam os dados.
A inversão ocorre entre os valores u_*=0.2 e u_*=0.4. A partir de u_*=0.4 a fração de estresse tem uma menor amplitude de variação, tende a permanecer constante.

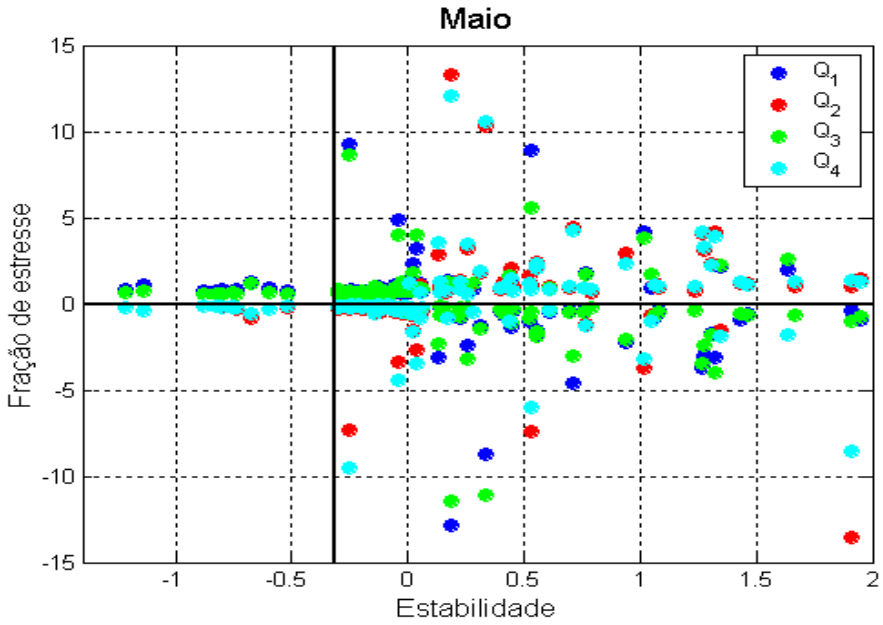
a)


Fevereiro
Fração de estresse
Estabilidade
Q1
Q2
Q3
Q4
15
10
5
0
-5
-10
-15
-1
-0.5
0
0.5
1

b)


Julho
Fração de estresse
Estabilidade
Q1
Q2
Q3
Q4
15
10
5
0
-5
-10
-15
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1

c)



d)

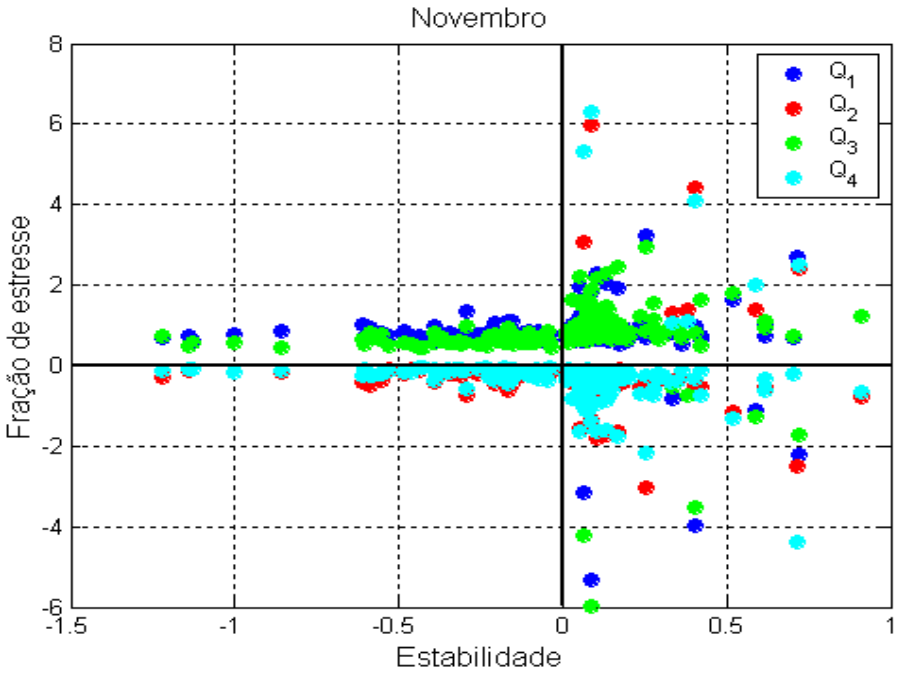
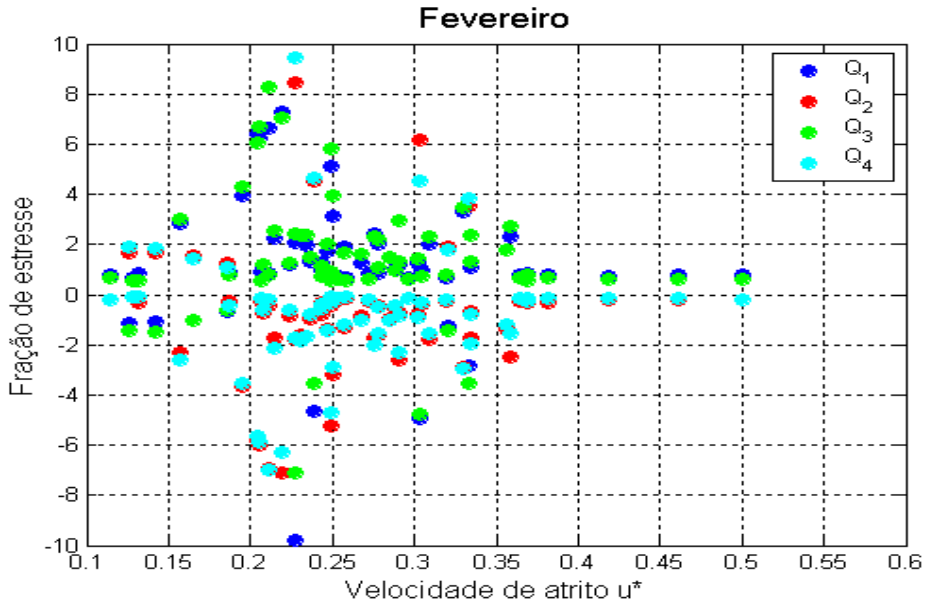


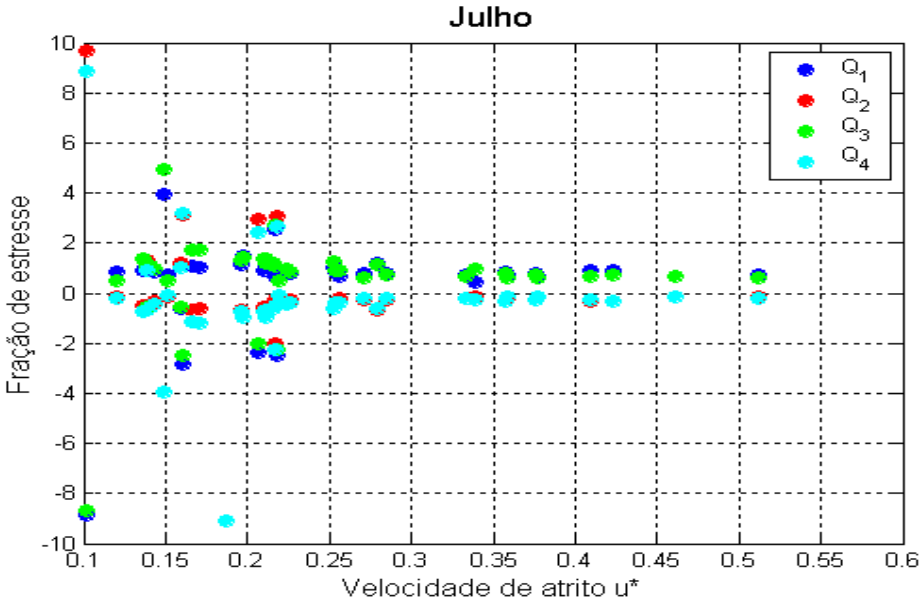
Figura 4: Variação da Fração de estresse do calor latente com a estabilidade. a) fevereiro, b) julho, c) maio, d) novembro.

Os quatrantes Q_1 e Q_3 concentram-se nos valores positivos de c', isto porque a principal fonte de umidade é a superficie terrestre. A distribuição em torno dos eixos assemelha-se ao fluxo de calor sensível.

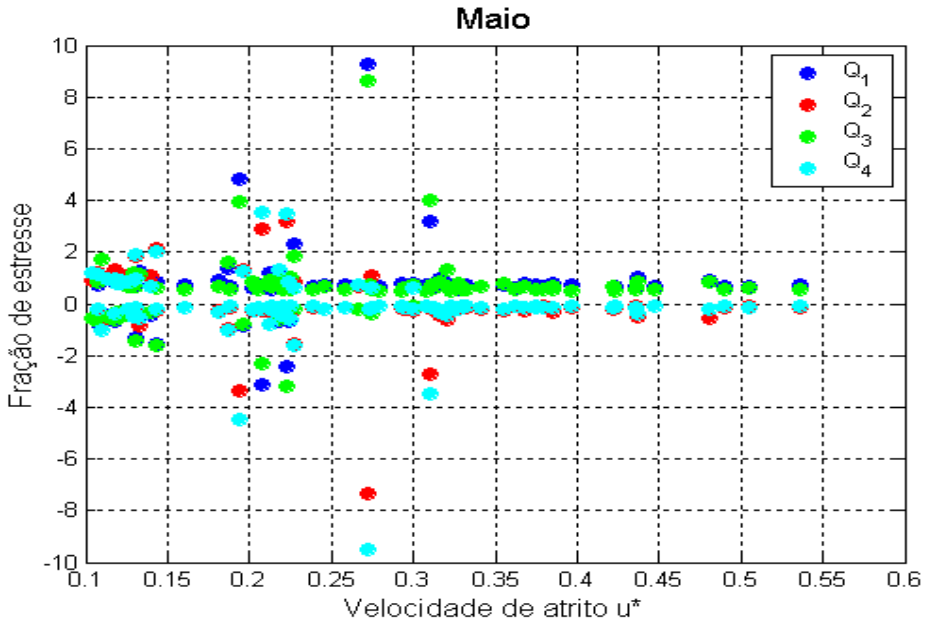
a)


Fevereiro
Fração de estresse
Velocidade de atrito u*
Q1
Q2
Q3
Q4

b)


Julho
Fração de estresse
Velocidade de atrito u*
Q1
Q2
Q3
Q4

c)



d)

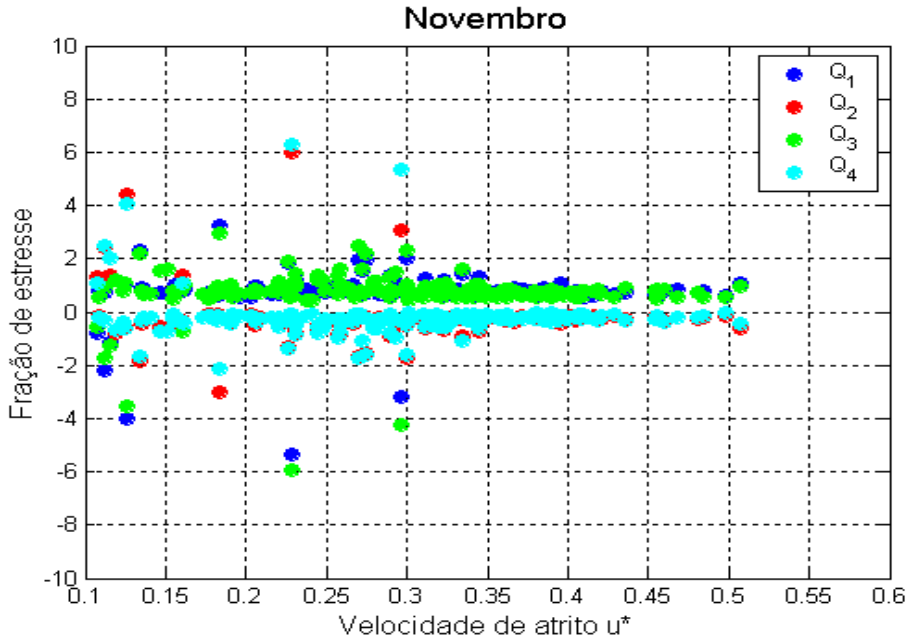


Figura 5: a) Variação da Fração de estresse do calor latente com a velocidade de atrito u_*. a) fevereiro, b) julho, c) maio, d) novembro.

O fluxo de calor latente, quando confrontado com a velocidade de atrito (u_*), tem comportamento semelhante ao fluxo de calor sensível, a amplitude de variação é maior para valores menores de u_*, a partir de u_*=0.35 a variação da fração de estresse tende a ser constante. No fluxo de calor latente não ocorre a infersão dos quadrantes.

REFERÊNCIAS

KATUL, G. KUHN, G., SCHIELDGE, J., HSIEH, C.I., 1997, **The Ejection-Sweep Character of Scalar Fluxes In The Unstable Surface Layer**, Boundary-Layer Meteorology, 83, 1-26.

KRUSCHE, N., 1990, **Modelos Matemáticos Para o Espectro de Energia Turbulenta na Baixa Atmosfera**, UFRGS, pag. 1- 28.

MÖLLER, S. V.,SILVESTRINI, J. H., 2004,**Turbulencia: Fundamentos**, IV Escola de primavera de transição e turbulência.

MANSUR, S. S., VIEIRA, E. D. R., 2004, **Visualização Experimental de Escoamentos**, IV Escola de primavera de transição e turbulência.

VERDUM, R., BASSO, L. A., SUERTEGARAY, D. M. A., **Rio Grande do Sul Paisagens e Territórios em Transformação. Porto Alegre: UFRGS,** 2004. P. 1-84

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL. Brasilia: ANEEL, 2002.